



**Eur päisches
Patentamt**

**Eur pean
Patent Office**

**Office européen
des brevets**



Beschreibung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

02425609.1

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk

RECORDS OF THE

RECORDS OF THE

RECORDS OF THE

RECORDS OF THE

RECORDS OF THE

RECORDS OF THE

RECORDS OF THE

RECORDS OF THE

RECORDS OF THE

RECORDS OF THE

RECORDS OF THE

RECORDS OF THE

RECORDS OF THE

RECORDS OF THE

RECORDS OF THE

RECORDS OF THE

RECORDS OF THE

RECORDS OF THE



Anmeldung Nr:
Application no.: 02425609.1
Demande no:

Anmeldetag:
Date of filing: 09.10.02
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

STMicroelectronics S.r.l.
Via C. Olivetti, 2
20041 Agrate Brianza (Milano)
ITALIE

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.
If no title is shown please refer to the description.
Si aucun titre n'est indiqué se referer à la description.)

An arrangement for controlling operation of a physical system, for instance for
controlling operation of fuel cells in electric vehicles

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed /Priorité(s)
revendiquée(s)
Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/
Classification internationale des brevets:

G05B13/00

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten/Contracting states designated at date of
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE SK TR

"Struttura per il controllo del funzionamento di un sistema fisico, ad esempio per il controllo del funzionamento di celle a combustibile in veicoli elettrici"

5

* * *

Campo dell'invenzione

La presente invenzione si riferisce al controllo dei sistemi ed è stata sviluppata con particolare attenzione al possibile impiego per il controllo di
10 stack a celle a combustibile utilizzate nel settore veicolistico. Di per sé l'invenzione è però di portata generale ed è dunque applicabile al controllo di sistemi fisici di qualunque tipo.

Uno stack di celle a combustibile (fuel cell) è un
15 convertitore d'energia di tipo elettrochimico che riceve in ingresso idrogeno e ossigeno e fornisce in uscita corrente ad un carico. La trasformazione avviene senza combustione. Dal punto di vista fisico, la cella combustibile è costituita da un materiale elettrolito
20 (liquido o solido) racchiuso a sandwich tra due elettrodi con funzione di catodo ed anodo. Il combustibile in ingresso passa attraverso l'anodo, l'ossigeno attraverso il catodo. Il primo è cataliticamente scomposto in ioni che attraverso
25 l'elettrolito ed elettroni che passano attraverso un percorso esterno chiuso dal carico. Ioni ed elettroni si ricombinano sul catodo formando i prodotti di scarto, composti sostanzialmente da acqua.

Descrizione della tecnica nota

30 Per il controllo di celle a combustibile (o di sistemi fisici con un comportamento equivalente) esistono al momento diversi modelli miranti a determinare la tensione d'uscita tramite tecniche di tipo quantitativo, basate sulle leggi della chimica e
35 della fisica. I relativi modelli, ricavati da

considerazioni teoriche, tengono in conto diverse variabili (ad esempio: temperatura della cella, pressione parziale dell'ossigeno in ingresso, corrente erogata), ma non sono "robusti", né sono di facile manipolazione. Quindi essi non si adattano bene all'utilizzazione nei casi pratici.

In pratica, i modelli in questione sono riconducibili ad una o più equazioni che identificano, ad esempio, il valore della tensione fornita dallo stack a celle a combustibile in funzione dei valori di corrente e di temperatura e di altri fattori quali la pressione dell'ossigeno, la pressione dell'aria all'ingresso dello stack, ecc. Di solito, tali modelli comprendono una o più equazioni, ciascuna delle quali è riferita a determinati campi di possibile variazione dei parametri di ingresso.

Soprattutto nelle applicazioni nel settore veicolistico (cosiddetto settore "automotive") si sta diffondendo l'utilizzazione dei veicoli elettrici, ed in particolare di veicoli ibridi elettrici a fuel cell e batterie.

In tale contesto è di fondamentale importanza la gestione delle sorgenti di energia ed in particolare dello stack di celle a combustibile, soprattutto in relazione alla gestione dei flussi energetici tra sorgenti e carichi. Per effettuare una corretta gestione delle risorse, è importante valutare il corretto funzionamento delle risorse energetiche destinate ad essere gestite dal sistema di controllo.

Tutto questo tenendo conto del fatto che, nel contesto "automotive", le applicazioni in questo contesto devono anche conciliarsi con esigenze di semplicità realizzativa (così da poter evitare ingombri e costi eccessivi) soddisfacendo nello stesso tempo ad esigenze piuttosto stringenti e di affidabilità anche

in ambienti applicativi piuttosto ostili.

Scopi e sintesi della presente invenzione

La presente invenzione si prefigge lo scopo di fornire un sistema di controllo in grado di soddisfare
5 in modo eccellente alle esigenze sopra delineate.

Secondo la presente invenzione, tale scopo è raggiunto grazie ad un sistema avente le caratteristiche richiamate in modo specifico nelle rivendicazioni che seguono.

10 Nel contesto di applicazione cui si è fatto riferimento in precedenza (che, si sottolinea, non è l'unico cui l'invenzione è applicabile) la soluzione secondo l'invenzione consente di realizzare una struttura di controllo basata su un modello neurale
15 adattativo di uno stack a fuel cell allo scopo di ottenere tecniche di diagnostica e controllo più efficienti sullo stesso sistema.

Nella forma di attuazione al momento preferita, una specifica parte del sistema di controllo aggiorna
20 il modello neurale nel caso in cui, a causa della variazione di parametri esterni ed interni dello stack, questo non sia più in grado di rappresentare in modo accurato il funzionamento del relativo dispositivo.

Il modello neurale è utilizzato per confrontare la
25 sua uscita con quella del sistema reale, ai fini del controllo e diagnostica. Se lo spostamento persiste nel tempo ed è consistente, il modello può essere aggiornato. La verifica avviene attraverso un'analisi delle grandezze significative dello stack memorizzate
30 in una base dati. Il sistema di controllo utilizza gli stessi dati presenti nella base dati per "addestrare" o "allenare" la rete neurale ed aggiornate il modello neurale dello stack.

Il sistema permette di prevedere il funzionamento
35 dello stack attraverso un modello neurale artificiale

che rappresenta un potente strumento di identificazione di sistemi pur essendo allo stesso tempo facile e rapido da implementare grazie ai mezzi di lavorazione del segnale di tipo numerico oggi disponibili. Il
5 sistema fornisce inoltre un modello autoaggiornante e consegue prima un notevole livello di flessibilità rispetto ad eventuali variazioni di funzionamento del sistema, anche in relazione a possibili evoluzioni del sistema rappresentate ad esempio dall'utilizzazione di
10 stack di diversa potenza.

Almeno nella forma di attuazione al momento preferita, la soluzione secondo l'invenzione dà origine ad un sistema basato sull'impiego di tecniche di modellizzazioni potenti rappresentate dalle reti
15 neurali. Queste costituiscono uno strumento di identificazione efficace, di semplice implementazione e che non richiede una conoscenza dei fenomeni fisici che stanno alla base del sistema fisico da modellare.

Il modello neurale dello stack a fuel cell è
20 autoaggiornante e quindi presenta una notevole robustezza rispetto a variazioni parametriche del sistema.

Inoltre, non è previsto alcun intervento sul sistema reale costituito dallo stack a fuel cell,
25 dispositivo che per funzionare necessita di un complesso gruppo di elementi ausiliari per cui la diagnostica del sistema non è un compito semplice.

La soluzione secondo l'invenzione consente di gestire in maniera ottimale le risorse energetiche rappresentate dallo stack poiché in ogni istante
30 consente di valutare il corretto funzionamento dello stesso.

Breve descrizione dei disegni annessi

L'invenzione sarà ora descritta, a puro titolo di
35 esempio non limitativo, con riferimento ai disegni

annessi, nei quali:

- la figura 1 illustra, sotto forma di schema a blocchi, la struttura di un sistema di controllo secondo l'invenzione,

5 - le figure 2 a 4 illustrano in maggiore dettaglio la struttura di alcuni degli elementi rappresentati nella figura 1,

- la figura 5 illustra in modo schematico lo svolgimento della funzione di addestramento della rete neurale, con l'aggiornamento dei relativi pesi e delle variabili di bias, e

- le figure 5 e 6 sono ulteriori schemi a blocchi che si riferiscono a possibili generalizzazioni della soluzione secondo l'invenzione.

15 Descrizione particolareggiata di esempi di attuazione dell'invenzione

Nello schema della figura 1, il riferimento 10 indica nel complesso un sistema di controllo hardware/software basato su un modello neurale artificiale autoaggiornante del comportamento elettrico di un sistema controllato: sistema controllato che, nell'esempio cui fanno riferimento le figure 1 a 5, si suppone essere costituito da uno stack a fuel cell (di tipo noto) in condizioni normali di funzionamento.

25 Il sistema 10 consente, valutando lo scostamento del funzionamento dello stack dal suo modello, di implementare tecniche di diagnostica e gestione della risorsa energetica costituita appunto dallo stack in maniera più efficiente. Tutto questo tenendo conto del fatto che il sistema controllato ha un funzionamento che nel tempo può variare a causa del logoramento e/o a seguito di variazioni di alcuni parametri interni o esterni al sistema stesso.

La soluzione secondo l'invenzione prevede pertanto
35 un'altra struttura che si affianca al modello neurale

dello stack per individuarne possibili variazioni di funzionamento dovute ad una qualsiasi delle cause sopra citate, per aggiornare in modo conseguente il modello dello stack.

5 Nell'ambito dello schema della figura 1 sono distinguibili tre insiemi di blocchi indicati rispettivamente con 1, 2 e 3.

Cominciando - per semplicità di trattazione - dall'insieme 3, lo stesso rappresenta essenzialmente il
10 "sotto" sistema controllato costituito nell'esempio di attuazione qui illustrato dallo stack a fuel cell.

Il relativo funzionamento può essere descritto globalmente ricorrendo ad una rappresentazione in cui il sistema S presenta un primo ingresso costituito
15 dall'alimentazione di idrogeno H_2 e un altro ingresso costituito dall'alimentazione di aria A. Tali ingressi sono caratterizzati da valori noti di pressione e portata. In particolare, nello schema è rappresentato un sensore PA che rileva la portata di aria generando
20 un corrispondente segnale che è inviato all'ingresso del sistema 10.

Un multiplexer, indicato con MUX1, è previsto all'ingresso del sistema per ricevere, oltre al segnale di portata Q generato dal sensore PA, anche un segnale
25 T identificativo della temperatura dello stack generato da un sensore TS nonché un segnale I generato da un sensore amperometrico A collegato all'uscita dello stack S.

Il segnale I è indicativo della corrente elettrica erogata dallo stack. Questa grandezza costituisce,
30 insieme alla tensione elettrica VR fornita dallo stack, rilevata da un sensore voltmetrico V, l'insieme delle uscite dello stack S.

Le due alimentazioni di idrogeno H_2 e di aria A
35 possono essere viste come portate all'ingresso dello

stack S attraverso un modulo essenzialmente assimilabile ad un multiplexer MUX2.

Completando la descrizione dell'insieme di blocchi 3, il riferimento E indica un nodo sommatore (con segno) cui sono portati - con segni opposti - un valore
5 di tensione stimata VS prodotto dall'insieme 1 di cui meglio si dirà nel seguito, e la tensione reale di uscita VR dello stack rilevata dal sensore V.

In questo modo, l'insieme 3 genera un segnale di
10 errore ERR rappresentativo dello scostamento tra la tensione VR misurata dal sensore V e la tensione VS stimata dal modello rappresentato dall'insieme 1. Il segnale di errore ERR è suscettibile di essere utilizzato da altri sistemi - non illustrati ma di tipo
15 noto - associati allo stack S per finalità diverse, ad esempio per fini di diagnostica.

L'insieme di blocchi indicato con 2 riceve in ingresso, oltre ai segnali T (temperatura stack), I (corrente di uscita stack) e Q (portata alimentazione
20 aria) provenienti dal multiplexer MUX1, anche il segnale indicativo della tensione reale dello stack generato dal sensore V.

L'insieme 2 comprende essenzialmente un blocco 21
25 fungente da base dati in cui, sotto la supervisione di un blocco 22 fungente dal sistema di controllo vero e proprio sono memorizzati dati di rilevamento corrispondenti ad alcune grandezze significative del funzionamento dello stack S quali appunto la temperatura T dello stack, la corrente generata I, la
30 portata aria Q e la tensione reale VR dello stack. I valori di tali dati di rilevamento sono memorizzati nella base dati 21 sotto il controllo di un sistema di controllo 22.

Secondo criteri meglio illustrati nel seguito, il
35 sistema 22 effettua un'analisi della possibile

variazione dei dati contenuti nella base dati 21. Se tale analisi rivela che il modello neurale del funzionamento elettrico dello stack S non è più soddisfacente a causa di variazioni interne o esterne
5 dei parametri di ingresso, il sistema di controllo 22 utilizza i dati di rilevamento memorizzati nella base dati 21 per realizzare una (nuova) fase di allenamento o addestramento e validazione della rete neurale posta alla base dell'insieme 1.

10 In modo più specifico, tale insieme comprende una rete neurale 12 definente il modello vero e proprio del sistema controllato. Alla rete neurale 12 è associato un modulo di addestramento o allenamento (training) indicato complessivamente con 11. La rete neurale 12
15 riceve in ingresso i segnali provenienti dal multiplexer MUX1 e genera, dagli stessi, il valore di tensione stimata VS destinato ad essere portato (con segno positivo) al nodo di somma E cui perviene, con segno negativo, il valore di tensione reale VR generato
20 dal sensore V. Il funzionamento della rete neurale 12 è determinato da valori di pesi W (weight) e di polarizzazione B (bias) prodotti dal modulo 11 che riceve in ingresso segnali generati da due moduli 222 e 223 costituenti rispettivi sotto-blocchi del blocco 22.

25 Prima di passare ad esaminare la struttura di questi due sotto-blocchi, è opportuno esaminare, con riferimento allo schema della figura 2, la struttura del sotto-blocco 221.

Quest'ultimo comprende essenzialmente, quale
30 stadio di ingresso, una rete 2210 comprendente una serie di comparatori 2210a seguita da una rete di porte logiche di tipo AND indicata nel complesso con 2210b.

All'ingresso della rete in questione sono portati i segnali di rilevamento costituiti dai segnali di
35 corrente I, portata aria Q e temperatura T dello stack

visti in precedenza.

I comparatori di soglia 2210a confrontano il valore di ciascuno di tali segnali d'ingresso con i limiti di corrispondenti finestre di valori
 5 rispettivamente massimo e minimo: I_{\max} , I_{\min} ; Q_{\max} , Q_{\min} ; T_{\max} , T_{\min} . Nel caso del segnale di corrente I il suddetto valore minimo I_{\min} è pari a 0.

Le porte AND elaborano (secondo criteri evidenti dal disegno e scontati per i tecnici esperti del
 10 settore, quindi tali da non richiedere una descrizione particolareggiata in questa Sede), i segnali di uscita dei comparatori di soglia 2210a così da verificare che i segnali I , Q e T ricadano nei campi operativi previsti. Tutto questo così da pilotare una linea di
 15 abilitazione 2211 per far sì che gli stessi segnali I , Q e T possano essere memorizzati (sotto forma di valori arrotondati IC , QC , TC in funzione di un passo di quantizzazione determinato) in un modulo funzionale 2212.

20 - Il riferimento 2213 indica l'insieme di blocchi che sovrintendono alla funzione di arrotondamento sotto il controllo di un segnale di clock CLK , la cui cadenza identifica, di fatto, la cadenza di aggiornamento dei dati memorizzati nella base dati 21.

25 Lo stesso segnale CLK pilota altresì, attraverso un blocco di sample & hold 2214 il trasferimento, campionato nel tempo con una funzione di mantenimento, della tensione reale VR sotto forma di un relativo valore di tensione V_a .

30 Il blocco 2212 implementa una funzione $F(I_c, Q_c, T_c)$ che calcola, dai valori discretizzati I_c , Q_c e T_c un indirizzo di memoria h dove memorizzare il relativo valore di tensione V_h . In altre parole, la funzione F individua una corrispondenza biunivoca fra la terna di
 35 ingresso (I_c , Q_c , T_c) e l'indirizzo h .

Il segnale di tensione reale campionato V_h è così memorizzato nella base dati 21. In base al valore dell'indirizzo h , i valori V_h sono memorizzati nella corrispondente locazione di memoria.

5 In particolare, all'indirizzo di memoria contrassegnato da $h=F(I_c, Q_c, T_c.)$ sono memorizzati diversi campioni della tensione V_h misurata in corrispondenza della stessa terna di ingresso ($I_c, Q_c, T_c.$). Il valor medio di tali campioni in corrispondenza
10 dello stesso indirizzo h è indicato con $V_{h,m}$.

Utilizzando, ad esempio, una memoria a 32 bit, è possibile memorizzare una notevole quantità di dati sufficienti per un buon allenamento della rete.

Così come illustrato nella figura 3, i dati di
15 rilevamento così memorizzati sono destinati ad essere letti selettivamente dalla base dati 21 per essere forniti come dati di aggiornamento tramite il blocco 222 al blocco di allenamento o addestramento (training) 11. Ciò avviene in corrispondenza di un segnale di
20 abilitazione EU generato dal blocco 223 di cui meglio si dirà nel seguito.

In corrispondenza del segnale EU generato dal blocco 223, il blocco 222 preleva i suddetti dati (DATA) dalla base dati 21 e li pone su rispettive
25 uscite V_t, I_t, Q_t, T_t (rispettivamente quali valori di tensione, corrente, portata, aria e temperatura) fornendoli ad un ulteriore multiplexer MUX3 che li trasferisce verso il modulo 11.

Lo schema della figura 4 illustra i criteri che
30 regolano la generazione del segnale EU da parte del modulo 223.

In particolare, all'ingresso del modulo 223, il valore di tensione del modello attuale, in corrispondenza dell'ingresso k -esimo (indicato con $V_{k,a}$)
35 è confrontato con il valore medio $V_{k,m}$.

In modo specifico $V_{k,m}$ non è altro che il valor medio dei suddetti campioni in corrispondenza del generico indirizzo k . $V_{k,a}$, invece, è il valore della tensione fornita dal modello attuale memorizzati in
 5 corrispondenza dell'indirizzo di memoria k . Ovviamente k è legato alla terna di ingresso (I_c , Q_c , T_c) dalla relazione $k = F(I_c, Q_c, T_c)$.

Se la differenza, calcolata per ciascun ingresso da un rispettivo modulo di differenza indicato
 10 genericamente con 223k ($k = 1, \dots, n$) è superiore di una determinata tolleranza fissata, stabilita in un modulo 224k ed applicata attraverso un circuito di finestra 225k ed, in funzione di una soglia di comparazione 226k, un relativo flag f_k (con k sempre
 15 pari a 1, ..., n) è posto pari ad 1. Se la somma dei flag, calcolata in un blocco 227, è maggiore di un valore di soglia Z (fissato da un blocco 228 come numero di campioni di tensione massimo consentito al di fuori della tolleranza) si abilitano, in funzione di un
 20 confronto attuato in un blocco 229, determinate procedure di ripristino e di funzionamento (ad esempio spurgo idrogeno, spurgo acqua, aggiunta acqua, ecc.)

Tali operazioni sono identificate complessivamente dal blocco indicato con 230.

25 Nello stesso tempo, è avviato un temporizzatore (timer) 231.

Al termine del conteggio del timer, se il segnale ER continua ad indicare il fatto che la somma dei flag è maggiore del valore di tolleranza Z (circostanza
 30 rilevata da una porta logica AND 232), si genera appunto il segnale EU ed i valori $V_{k,a}$ sono aggiornati con i nuovi valori $V_{k,m}$.

Tale operazione è svolta attraverso una rete logica di tipo AND, indicata con 233.

35 Lo schema della figura 5 rappresenta i criteri con

cui le grandezze I_t , Q_t , T_t , V_t prelevata dalla base dati 21 e dal modulo 222 sono sfruttate, alla ricezione del segnale EU dal modulo di training 11 dell'insieme 1.

5 La funzione del training in questione è di generare i segnali inerenti ai pesi w ed alla polarizzazione o bias B destinati ad essere sfruttate (in modo noto, in base a criteri tali da non richiedere una descrizione specifica in questa sede) dalle
10 funzioni di attivazione dei neuroni N della rete neurale 12 per generare in uscita il segnale di tensione stimata VS in funzione dei segnali di corrente, portata e temperatura I , Q e T ricevuti attraverso il multiplexer MUX1.

15 La funzione di training 11 è essenzialmente costituita da un tool di addestramento 110 che riceve in ingresso, in corrispondenza del segnale EU l'insieme di dati di addestramento V_t , I_v , Q_t , T_t utilizzanti dal tool 110 per allenare - secondo criteri di per sè noti
20 - la rete neurale 12 riprodotta a livello di modello virtuale 12' nell'ambito dello stesso tool di training.

Al termine del training, il tool 110 genera un segnale ET , indicativo della fine della fase di training, che abilita l'aggiornamento dei pesi e delle
25 variabili di bias trasferendo il modello virtuale 12' nel modello neurale reale dello stack indicato con 12.

Le esperienze condotte dalla Richiedente dimostrano che la struttura descritta, con modello neurale adattativo, presenta evidenti benefici legati
30 in via principale al fatto che il modello neurale prevede, in maniera più accurata rispetto al modello analitico, la tensione in uscita dello stack S .

Lo schema della figura 6 mira a illustrare che l'invenzione appena descritta può essere estesa al
35 controllo di qualunque sistema fisico S suscettibile di

essere modellizzato attraverso una rete neurale 12 con associato un modulo di training 11 che provvede ad aggiornare i dati di configurazione WB della rete neurale 12.

5 Questo in funzione di un segnale di abilitazione dell'aggiornamento EU generato da un sistema di controllo 22 che sovrintende al funzionamento di una base dati 21 in cui sono memorizzati i parametri di funzionamento del sistema controllato S immessi nella
10 relativa memoria quali dati filtrati (arrotondati) IF per essere prelevati quali dati di aggiornamento quando il sistema di controllo 22 rileva la necessità di procedere ad un aggiornamento.

 Per il resto, i simboli riportati nella figura 6
15 hanno lo stesso significato ovvero un significato funzionalmente equivalente rispetto ai simboli riprodotti nella figura 1.

 In particolare, il riferimento E indica il nodo cui sono portati, con segno, il segnale VS stimato dal
20 modello neurale 12 (segnale stimato - che non è necessariamente una tensione) ed il segnale reale VR (anche in questo caso si può trattare di una grandezza qualsiasi, diversa da una tensione) misurato su un sistema controllato S.

25 Nello schema della figura 6 i riferimenti I1 e I2 indicano in generale gli ingressi del sistema di controllo 22 della rete neurale 12 da una parte e del sistema controllato S, dall'altra parte.

 Rispetto al caso specifico precedentemente
30 illustrato con riferimento alle figure 1 a 5, nello schema più generale della figura 6 la natura ed il numero degli ingressi I1 ed I2 possono essere qualsiasi così come anche l'uscita VR del sistema reale S e l'uscita VS stimata del modello 12. Rimangono comunque
35 inalterate le funzioni del contesto proposto.

Con riferimento alle funzioni di acquisizione, filtraggio e discretizzazione (rilevamento) delle grandezze rappresentate nella figura 2, nel caso del modello generalizzato della figura 6 al posto delle
5 grandezze I, T, Q e VR rappresentative degli ingressi più significativi e dell'uscita del sistema S sono presi in considerazione gli ingressi più significativi del sistema controllato. Le funzioni di arrotondamento e di calcolo degli indirizzi di memorizzazione (blocchi
10 2113 e 2112) mantengono il loro compito di discretizzazione degli ingressi più significativi e di calcolo degli indirizzi dove sono memorizzati i campioni nella base dati 21.

Anche l'operazione di memorizzazione dei dati e
15 prelievo degli stessi per l'impiego da parte del tool di training 11 rimangono inalterate rispetto allo schema rappresentato nella figura 3. Naturalmente, rispetto al caso specifico descritto appunto nella figura 3, è necessario tenere in conto la natura e il
20 numero degli ingressi e delle uscite dei blocchi rappresentati, in modo affatto generico, nella figura 6.

Anche per la valutazione delle variazioni parametriche e la generazione del segnale di
25 aggiornamento EU della rete neurale la procedura è quella rappresentata con riferimento alla figura 6.

Si apprezzerà che lo svolgimento delle operazioni di ripristino del blocco 230 della figura 4 (ad esempio spurgo idrogeno, spurgo acqua, aggiunta acqua, ecc.)
30 non sono imperative, né nel caso specifico rappresentato nella figura 4, né nel caso più generale rappresentato nella figura 6.

Tali operazioni sono quindi mantenute soltanto se il sistema in oggetto prevede lo svolgimento di
35 operazioni di ripristino, che in molti casi non sono

previste.

Questo corrisponde di fatto all'eliminazione, rispetto allo schema della figura 4, tanto del blocco 230, quanto del timer 231 che rileva l'intervallo dopo
5 il quale si procede a rilevare l'eventuale mantenimento delle condizioni fuori soglia.

Per quanto riguarda lo svolgimento delle operazioni di training (aggiornamento dei pesi e delle variabili di bias) i principi generali di funzionamento
10 rimangono gli stessi, essendo per altro evidente l'esigenza di cambiare la mappatura ingresso/uscita (I_t , T_t , Q_t , V_t).

Naturalmente, fermo restando il principio dell'invenzione, i particolari di realizzazione e le
15 forme di attuazione potranno essere ampiamente variati rispetto a quanto descritto ed illustrato, senza per questo uscire dall'ambito della presente invenzione, così come definita dalle rivendicazioni annesse.

Rivendicazioni

1. - Struttura per controllare un sistema (S) in funzione dello scostamento (ERR) fra almeno un parametro di controllo così come misurato sul sistema
5 (VR) e così come stimato (VS) tramite un modello del sistema controllato (S), la struttura comprendendo:

- una rete neurale (12) che genera la stima (VS) di detto parametro di controllo implementando detto modello in funzione di un insieme di parametri
10 caratteristici (I, Q, T) del sistema controllato (S) e di rispettivi parametri di configurazione (W, B) della rete neurale (12); detta rete neurale (12) avendo associato un modulo di training (11) suscettibile di addestrare detta rete neurale (12), modificando detti
15 parametri di configurazione (W, B) in funzione di un insieme di dati di aggiornamento (V_t , I_t , Q_t , T_t),

- un modulo di acquisizione (21, 221) per acquisire il valore effettivo, così come misurato sul sistema controllato (S), di un insieme di parametri di
20 rilevamento comprendente almeno uno fra detto parametro di controllo (VR) e detti parametri caratteristici (I, Q, T) del sistema controllato,

- un modulo di variazione (22), sensibile alla variazione di detto parametro di controllo ($V_{k,a}$; $V_{k,m}$)
25 e suscettibile di generare un segnale di abilitazione all'aggiornamento (EU) quando detto parametro di controllo esce da un campo di tolleranza prefissato (228);

detto modulo di acquisizione (21, 221) essendo
30 sensibile a detto segnale di abilitazione all'aggiornamento (EU) per trasferire verso detto modulo di training (11), quale detto insieme di dati di aggiornamento, detto insieme di parametri di rilevamento (V_t , I_t , Q_t , T_t).

35 2. - Struttura secondo la rivendicazione 1,

caratterizzata dal fatto che detto modulo di acquisizione comprende un modulo di troncamento (2213) per il troncamento del valore effettivo di almeno alcuni di detti parametri caratteristici (I_c , Q_c , T_c)
5 del sistema controllato.

3. - Struttura secondo la rivendicazione 1 o la rivendicazione, caratterizzata dal fatto che detto modulo di acquisizione (21) comprende una memoria (211) per la memorizzazione (V_h) di almeno uno (VR) dei
10 parametri di detto insieme di parametri di rilevamento.

4. - Struttura secondo la rivendicazione 3, caratterizzata dal fatto che detto modulo di acquisizione (21) comprende un modulo funzionale (2212) per generare, in funzione del valore di almeno uno di
15 detti parametri caratteristici del sistema controllato (I , Q , T) un indirizzo (h) per la memorizzazione di detto almeno un parametro di controllo (V_h).

5. - Struttura secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, caratterizzata dal fatto che
20 detto modulo di acquisizione comprende una rete di ingresso (2210) per verificare che detto valore effettivo, così come misurato su detto sistema controllato (S), di almeno uno di detti parametri caratteristici del sistema controllato (S) ricada in un
25 campo di variazione ammesso.

6. - Struttura secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, caratterizzata dal fatto che detto modulo di acquisizione comprende un modulo di campionamento e tenuta (2214) per l'acquisizione del
30 valore di detto parametro di controllo (V_h).

7. - Struttura secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, caratterizzata dal fatto che detto modulo di variazione (223) comprende un modulo di ripristino (230) per ripristinare almeno un parametro
35 del sistema controllato (S) quando detto parametro di

controllo esce da detto campo di tolleranza prefissato (229).

8. - Struttura secondo la rivendicazione 7, caratterizzata dal fatto che detto modulo di variazione
5 (223) contiene un temporizzatore (231) con un conteggio attivabile quando detto parametro di controllo esce da detto campo di tolleranza prefissato e dal fatto che detto modulo di variazione è configurato (232) per emettere detto segnale di abilitazione
10 dell'aggiornamento (EU) quando, terminato il conteggio di detto temporizzatore (231), detto parametro di controllo permane al di fuori di detto campo di tolleranza prefissato.

9. - Struttura secondo una qualsiasi delle
15 precedenti rivendicazioni, caratterizzata dal fatto che detto modulo di variazione (223) è configurato per rilevare lo scostamento, rispetto a detto campo di tolleranza, della differenza tra il valore corrente di detto parametro di controllo ($V_{k,a}$) ed il rispettivo
20 valore medio ($V_{k,m}$).

10. - Struttura secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, caratterizzata dal fatto che detto modulo di variazione (223) è configurato per operare in funzione di una pluralità di valori di detto
25 parametro di controllo, rilevando quando un numero dato (Z) di detti valori di detto parametro di controllo risulta uscire da detto campo di tolleranza prefissato.

11. - Struttura secondo una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni, caratterizzata dal fatto che
30 detto sistema controllato (S) comprende almeno una cella a combustibile.

12. - Struttura secondo la rivendicazione 11, caratterizzata dal fatto che detto almeno un parametro di controllo è costituito dalla tensione (V_R , V_S)
35 elettrica generata da detta almeno una cella a

combustibile.

13. - Struttura secondo la rivendicazione 11 o la rivendicazione 12, caratterizzata dal fatto che dette parametri caratteristici del sistema controllato (S) sono scelte dal gruppo costituito da:

- corrente (I) generata da detta almeno una cella a combustibile,

- quantità di aria (Q) alimentata a detta almeno una cella a combustibile, e

10 - temperatura (T) di detta almeno una cella a combustibile.

RIASSUNTO

Una struttura per controllare un sistema (S) in funzione dello scostamento (ERR) fra almeno un parametro di controllo così come misurato sul sistema (VR) e così come stimato (VS) tramite un modello del sistema controllato (S). La struttura comprende una rete neurale (12) che genera la stima (VS) del parametro di controllo in funzione di un insieme di parametri caratteristici (I, Q, T) del sistema controllato (S) e di rispettivi parametri di configurazione (W, B). La rete neurale (12) ha associato un modulo di training (11) suscettibile di addestrare detta rete neurale (12), modificando detti parametri di configurazione (W, B) in funzione di un insieme di dati di aggiornamento (V_t , I_t , Q_t , T_t). Un modulo di acquisizione (21, 221) acquisisce il valore effettivo, così come misurato sul sistema controllato (S), di un insieme di parametri di rilevamento comprendente almeno uno fra il suddetto parametro di controllo (VR) ed i suddetti parametri caratteristici (I, Q, T) del sistema controllato. Un modulo di variazione (22) è sensibile alle variazioni del parametro di controllo ($V_{k,a}$; $V_{k,m}$) e genera un segnale di abilitazione all'aggiornamento (EU) quando il parametro di controllo esce da un campo di tolleranza prefissato (228). Il modulo di acquisizione (21, 221) essendo sensibile al segnale di abilitazione all'aggiornamento (EU) per trasferire verso il modulo di training (11), quale insieme di dati di aggiornamento, detto insieme di dati di rilevamento (V_t , I_t , Q_t , T_t). Applicazione preferenziale al controllo di stack di celle a combustibile.

(Figura 1)







